



**NÜKLEER TIPTA KULLANILAN ^{111}In , ^{86}Y VE ^{68}Ge
ELEMENTLERİNİN RADYOİZOTOPLARININ
TALYS 1.6 İLE İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Sercan ÇEVRE

DANIŞMAN

Prof. Dr. Rıdvan ÜNAL

FİZİK ANABİLİM DALI

Haziran, 2016

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NÜKLEER TIPTA KULLANILAN ^{111}In , ^{86}Y VE ^{68}Ge ELEMENTLERİNİN
RADYOİZOTOPLARININ TALYS 1.6 İLE İNCELENMESİ**

Sercan ÇEVRE

DANIŞMAN
Prof. Dr. Rıdvan ÜNAL

FİZİK ANABİLİM DALI

Haziran, 2016

TEZ ONAY SAYFASI

Sercan ÇEVRE tarafından hazırlanan “Nükleer Tıpta Kullanılan ^{111}In , ^{86}Y ve ^{68}Ge Elementlerinin Radyoizotoplarının TALYS 1.6 ile İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 30/06/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Rıdvan ÜNAL

Başkan :Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM
Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Rıdvan ÜNAL
Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nurdan KARPUZ
Amasya Üniversitesi Sabuncuoğlu Şerefeddin Sağlık Hizmetleri
Meslek Yüksek Okulu

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

30/06/2016

Sercan ÇEVRE

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

NÜKLEER TIPTA KULLANILAN ^{111}In , ^{86}Y ve ^{68}Ge ELEMENTLERİNİN
RADYOİZOTOPLARININ TALYS 1.6 İLE İNCELENMESİ

Sercan ÇEVRE
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Rıdvan ÜNAL

Radyoizotop üretimi pahalı ve zaman alan bir süreçtir. Tesir kesiti hesaplamaları bu pahalı sürecin umut veren üretim yollarının belirlenmesine kılavuz olur. Bu çalışma da nükleer tıpta kullanılan ^{111}In , ^{86}Y ve ^{68}Ge radyoizotoplarının üretimine yardımcı olabilecek nükleer reaksiyon tesir kesitlerinin TALYS 1.6 ile incelenmesi amaçlanmaktadır. Radyoizotopların üretilmesi ise tıpta kullanılan radyoizotopların oluşturulan nükleer reaksiyon yardımıyla çeşitli parçacık hızlandırıcıları ve reaktörlerde üretilir. Bu pahalı sürecin maliyetini azaltmak için tesir kesitlerin bilinmesi önem taşır. Bu çalışma ile tesir kesitlerinin benzetim programlarının yardımıyla hesaplanması problemi ele alınacaktır.

2016, vi + 29 sayfa

Anahtar Kelimeler: Radyoizotop, tesir kesiti, TALYS 1.6

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

^{111}In , ^{86}Y and ^{68}Ge ELEMENTS INVESTIGATION TALYS 1.6 OF RADIOISOTOPES USED IN NUCLEAR MEDICINE

Sercan ÇEVRE

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Prof. Rıdvan ÜNAL

Radioisotope production process is expensive and time consuming. Cross section calculations will guide the identification of promising ways of production of this expensive process. This study also used in nuclear medicine ^{111}In , ^{86}Y and ^{68}Ge to help the production of radioisotopes is aimed to study the nuclear reaction cross section with TALYS 1.6. Radioisotopes, nuclear reaction generated with the help of radioisotopes used in medicine can be produced in various particle accelerators and reactor. In order to reduce the cost of this expensive processes it is important to know the cross-section. In this study, these cross sections will be calculated with the help of simulation programs to address the problem.

2016, vi + 29 pages

Keywords: Radioisotopes, cross-section, TALYS 1.6

TEŞEKKÜR

Fizik eğitimim süresince yardımlarını, bilgilerini ve tecrübelerini benden esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Rıdvan ÜNAL'a ve Doç. Dr. Hüseyin Ali YALIM'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında emeği geçen Niyazi BALÇIN'a Ali ALPERGÜN'e Özgün AĞAR'a ve Ümran ATMACA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli aileme teşekkür ederim.

Sercan ÇEVRE
AFYONKARAHİSAR, 2016

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Nükleer Tıp	1
1.2 Nükleer Tıpta Tanı Yöntemleri	2
1.3 Nükleer Tıpta Kullanılan Bazı Radyoizotoplar.....	3
1.3.1 Reaktör Radyoizotoplar	3
1.3.2 Siklotron Radyoizotoplar	5
1.4 Tesir Kesiti	5
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	7
3. MATERYAL ve METOT	10
3.1 TALYS 1.6.....	10
3.1.1 Çalışma Prensibi	10
3.2 Temel Giriş Kuralları	10
3.3 4 Ana Anahtar Kelime.....	11
3.4 TALYS Girdi Dosyası.....	13
3.5 TALYS Çıktı Dosyası	14
3.6 Kullandığımız Radyoizotoplar	17
4. BULGULAR	19
4.1 ⁶⁸ Ge Radyoizotopunun Tesir Kesiti.....	19
4.2 ¹¹¹ In Radyoizotopunun Tesir Kesiti.....	21
4.3 ⁸⁶ Y Radyoizotopunun Tesir Kesiti	22
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	24
6. KAYNAKLAR.....	26
ÖZGEÇMİŞ.....	29

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

α	Alfa
Z	Atom Numarası
β	Beta
γ	Gama
MeV	Megaelektrovolt
GeV	Gigaelektrovolt
mb	Milibarn
mSv	MiliSievert
p	Proton
n	Nötron
d	Döteryum
t	Trityum

Kısaltmalar

MRG	Manyetik Rezonans Görüntüleme
PET	Pozitron Emisyon Tomografi
BT	Bilgisayarlı Tomografi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 4.1 ^{nat}Ga (p,x) ^{68}Ge reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	19
Şekil 4.2 ^{69}Ga (p,2n) ^{68}Ge reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.	20
Şekil 4.3 ^{113}Cd (p,3n) ^{111}In reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması	21
Şekil 4.4 ^{nat}Zr (p,x) ^{86}Y reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.	22
Şekil 4.5 ^{86}Sr (p,n) ^{86}Y reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.	23

1. GİRİŞ

Nükleer fizik alanı radyoaktivitenin bulunması ile başladığı kabul edilir. Radyoaktiviteye temel olan çalışma 1896 yılında Becquerel' in uranyum tuzlarının ısıldaması üzerine yaptığı çalışmalardır. Nükleer fiziğin; savaş endüstrisi ve enerji alanında oluşturduğu potansiyel, geçen yüzyılda üzerinde çok çalışılan bir alan haline gelmesine neden olmuştur. Nükleer fizikteki bazı teknikler katı hal ve atom fiziği gibi değerli uygulama alanlarında da kullanılır. Temel araştırmalar için iyi ve kötünün sınırlarını belirlemede nükleer fizikten daha uygun, doğrudan uygulanabilir bir bilim dalı yoktur (Krane 2006).

1.1 Nükleer Tıp

Bir kişinin belirli organlarının işleyişi hakkında bilgi vermek ya da hastalığın tedavisi için radyasyon kullanan tıp dalıdır. Çoğu durumda bu bilgi hastalığın hızlı ve doğru bir teşhis yapılması için doktorlar tarafından kullanılır. Tiroid, kemikler, kalp, karaciğer ve diğer birçok organdan kolayca görüntüler alınabilir ve onların fonksiyon bozuklukları ortaya çıkarılabilir. Bazı durumlarda, radyasyon, tümörleri ya da hastalıklı organları tedavi etmek içinde kullanılabilir. Beş Nobel Ödülü tıpta radyoaktif izleyiciler kullanımı ile yakından ilişkilendirilmiştir.

Tıpta dünya çapında 10 000'den fazla hastanede radyoizotop kullanımı ve prosedürlerin yaklaşık % 90 tanı içindir. Tanı için en yaygın radyoizotop Teknesyum-99 kullanılır.

Gelişmiş ülkelerde (dünya nüfusunun% 26) nükleer tıp tanı frekansı yıllık % 1,9 olup, radyoizotop ile tedavinin frekansı ile yaklaşık onda biridir. ABD'de yılda yaklaşık 20 milyon ile 311 milyon kişi arasında nükleer tıp prosedürleri var iken Avrupa'da 10 milyon ile 500 milyon kişi arasında vardır. Radyofarmasötiklerin tanıda kullanımı yılda % 10'dan fazla büyümektedir.

Küresel radyoizotop pazarı 2012 yılında 4,8 milyar \$ değerinde idi, bunun yaklaşık % 80'i tıbbi radyoizotoplardır ve 2017 yılına kadar yaklaşık 8 \$ milyara ulaşması hazırlanıyor. Avrupa, pazar payının yaklaşık % 20'sini oluşturur iken Kuzey Amerika, pazar payının yarısına yakını ile radyoizotop tanısı için baskın pazardır.

Nükleer tıp, başlangıçta teşhis ve daha sonra tiroid hastalığını tedavi etmek için iyot-131 kullanarak, bir endokrin vurgusu ile hekimler tarafından 1950'lerde geliştirilmiştir. Son yıllarda uzmanlar da çift CT/PET usullere uygun olarak radyoloji, radyoizotop üretiminde hızlandırıcı rolünü arttırmıştır. Teknesyum gibi ana radyoizotoplar etkili bir reaktör olmadan üretilemezler.

Bilgisayarlı X-ışını tomografi (BT) taramaları ve nükleer tıp katkısı toplam radyasyon maruziyetinin % 36'sı ve Radyasyondan Korunma ve Ölçümleri ABD Ulusal Konseyinin 2009 yılı raporuna göre ABD nüfusunun tıbbi maruziyeti % 75'tir. Raporda Amerikalıların ortalama yıllık toplam radyasyona maruz kalma nedeniyle tıbbi ilgili prosedürlere, 1980'li yılların başından bu yana yılda 3,6 mSv'den 6,2 mSv'e yükselmiş olduğunu gösterdi (Endüstriyel radyasyona maruz kalma, nükleer santraller, toplam kamu radyasyona maruz kalma % 0,1'den az olanlar dahil).

Önemli bir nükleer tıp prosedürü, vücudun organları ve içyapıların kesit görüntüler oluşturmak için güçlü mıknatıslar ve radyo dalgaları (MRG), Manyetik Rezonans Görüntülemesidir. Radyoizotop veya iyonize radyasyon kullanılmaz ama hidrojen, nükleer manyetik rezonansa dayanır (İnt. Kyn.1).

1.2 Nükleer Tıpta Tanı Yöntemleri

Nükleer tıpta tanı yöntemlerinde vücut içinde gama ışınları yayan radyoaktif izleyiciler kullanılır. Bu izleyicilerde genellikle incelenmesi gereken özel fizyolojik süreçleri olan kimyasal bileşiklere bağlı kısa ömürlü izotoplar vardır. Bunlar ağızdan, enjeksiyon veya inhalasyon yoluyla verilebilir. Birinci tip, tek fotonlar birçok farklı açılardan organları görebilen bir gama kamera ile tespit edilir. Kamera radyasyonunun yayılan başka bir noktasında görüntü oluşturur; bu resim bir bilgisayar tarafından geliştirilir ve anormal durumların endikasyonları için bir monitörde hekim tarafından görülür

Daha yeni bir gelişme olan Pozitron Emisyon Tomografisi (PET) siklotrondan üretilen radyoizotoplar kullanarak daha hassas ve karmaşık bir tekniktir. Bir pozitron yayan radyonüklit, genellikle enjeksiyon yoluyla, kişiye veya hedef doku içinde birikir. Bozunma gibi hemen zıt yönlerde iki tanımlanabilir gama ışınlarının aynı anda

emisyonu ile sonuçlanan yakındaki bir elektron ile birleştiren bir pozitron yayar. Bunlar PET kamera tarafından algılanır ve onların kaynağı çok hassas ölçüm verir. Çoğu kanser değerlendirerek ve en doğru tespitin yayılmayan bir yöntem olduğu kanıtlandığından beri PET'in en önemli klinik rolü flor-18 ile izleyici olarak onkoloji içindedir. Ayrıca, kalp ve beyin görüntülemeye kullanılmıştır (İnt. Kyn.1).

1.3 Nükleer Tıpta Kullanılan Bazı Radyoizotoplar

Birçok radyoizotop bazı siklotronlarla nükleer reaktörlerde yapılır. Genel olarak nötronu zengin olanlar ve nükleer fizyon ihtiyacı olanlar reaktörlerde yapılır. Nötronu tükenmiş olanlar siklotron yapılır.

1.3.1 Reaktör Radyoizotoplar

Bizmut -213- (46 dakika): Alfa terapisinde, özellikle kanser tedavisinde kullanılır. Yüksek enerjisi 8,4 MeV'dir.

Sezyum -131- (9,7 gün): Brakiterapi için kullanılır ve yumuşak X-ışınları yayar.

Sezyum -137- (30 yıl): Kanın düşük yoğunluklu sterilizasyonu için kullanılır.

Krom -51- (28 gün): Kırmızı kan hücrelerini izlemek ve gastrointestinal protein kaybı ya da kanamayı ölçmek için kullanılır.

Kobalt -60- (5,27 yıl): Eskiden eksternal radyoterapi için kullanılırdı ancak şimdi genel olarak sterilize etmek için kullanılır.

Dispersiyum -165- (2 saat): Arterit sinovektomi tedavisi için toplu bir hidroksit olarak kullanılır.

Erbium -169- (9,4 gün): Sinovyal eklemlerde artrit ağrı giderici olarak kullanılır.

Holmiyum -166- (26 saat): Karaciğer tümörlerinin tanı ve tedavisi için geliştirilmekte olan elementtir.

İyot -125- (60 gün): Kanser brakiterapide (prostat ve beyin) aynı zamanda böbreklerin süzme oranını değerlendirmek ve bacakta derin ven trombozu tanısında kullanılır. Ayrıca, yaygın olarak küçük miktarlarda hormonların varlığı gösteren radyoimmüno kullanılır.

İyot -131- (8 gün)*: Yaygın tiroit kanseri tedavisinde ve tiroid görüntülemelerde kullanılır. Ayrıca anormal karaciğer fonksiyonu, renal (böbrek) kan akımı ve idrar yolları tıkanıklığı tanısında kullanılır. Güçlü bir gama yayıcıdır ancak beta terapisi için kullanılır.

İridyum -192- (74 gün): Kanser tedavisi için bir iç radyoterapi kaynağı olarak kullanılmak üzere, tel şeklinde tedarik edilir. Örneğin, prostat kanseri için (daha sonra kullanımdan kaldırıldı). Güçlü beta yayıcıdır.

Demir -59- (46 gün): Dalakta demir metabolizması çalışmalarında kullanılır.

Molibden -99- (66 saat): Teknesyum-99m üretmek için bir dinamo 'kaynak' olarak kullanılır.

Fosfor -32- (14 gün): Polisitemia vera tedavisinde kullanılır (aşırı kırmızı kan hücreleri). Beta yayıcıdır.

Potasyum -42- (12 saat): Koroner kan akışında değişebilir potasyumun belirlenmesi için kullanılır.

Radyum -223- (11,4 gün): Brakiterapi için kullanılır, yumuşak X-ışınları yayar.

Renyum -186- (3,8 gün): Kemik kanserinin ağrı tedavisi için kullanılır. Görüntüleme için zayıf gama ile beta yayıcıdır.

Samaryum -153- (47 saat): Sm-153 Kuadramet olarak satılan, kemikte açılmış ikincil kanser ağrısını gidermede çok etkilidir. Prostat ve meme kanseri için de çok etkilidir. Beta yayıcıdır.

Selenyum -75- (120 gün): Sindirim enzimlerinin üretimini incelemek için selenometiyonin formunda kullanılır.

Sodyum -24- (15 saat): Gövde içinde elektrolit çalışmaları için kullanılır.

Stronsiyum -89- (50 gün) *: Prostat ve kemik kanserinde ağrıyı azaltmada çok etkilidir. Beta yayıcıdır.

Xenon -133- (5 gün) *: Pulmoner (akciğer) havalandırma çalışmaları için kullanılır.

İterbiyum -169- (32 gün): Beyinde beyin omurilik sıvısı çalışmalarda kullanılır.

1.3.2 Siklotron Radyoizotoplar

Karbon-11, Nitrojen-13, Oksijen-15, Flor-18: Özellikle epileptik odak olarak belirlemede, beyin fizyolojisi ve patolojisi eğitimi için PET kullanılan pozitron yayıcılar, demans, psikiyatri ve Neuropharmacology çalışmalarında kullanılırlar. Kardiyojide de önemli bir role sahiptirler.

Kobalt -57- (272 gün): Organ boyutunu tahmin etmek bir belirteç olarak kullanılır.

Bakır -64- (13 saat): PET tümörlerin görüntülenmesinde ve ayrıca kanser tedavisi için, örneğin, Wilson ve Menkes hastalıkları gibi bakır metabolizmasını etkileyen genetik hastalıkları incelemek için kullanılır.

Galyum -67- (78 saat): Tümör görüntüleme için kullanılır.

Rubidyum -82- (1,26 dakika): Miyokard perfüzyon görüntülemede uygun PET etkeni olarak kullanılır.

Stronsiyum -82- (25 gün): Rb-82 üretmek için bir dinamo 'kaynak' olarak kullanılır.

Talyum -201- (73 saat): Kalp kası ölümü ve düşük dereceli lenfomaların yeri için, koroner arter hastalığı, diğer kalp hastalıkları teşhisi için kullanılır (İnt. Kyn.1).

1.4 Tesir Kesiti

Tesir kesiti uyarılma fonksiyonu olarak da adlandırılır. Uyarılma fonksiyonu bir hızlandırıcı ile üretilen radyoizotop miktarını ve hedef malzemedeki diğer radyoizotopların bulaşma seviyesini belirler. Nükleer reaksiyon modeline göre reaksiyonun gerçekleşmesi için birbirlerine doğru gelen iki kürenin birbirlerine değmeleri gerekir. Nükleer reaksiyon oluşma olasılığı ise her iki kürenin yüzey alanları ile orantılı olarak gerçekleşir. Gelen parçacıkların hedef çekirdekleriyle doğrudan etkileştikleri etkin alanları vardır. Gelen parçacıklar bu etki alanına düşerlerse nükleer reaksiyon gerçekleşir. Bir protonun hedef ile etkileşme olasılığı çekirdek yüzeyinin alanı ile orantılıdır. Hedef ile etkileşen protonun büyüklüğü yaklaşık olarak 1 barn kadardır. Bir nükleer reaksiyonun enerjisi, Coulomb engeli ile Q değerini aşmak için gereken enerjiden düşük ise (tünelleme olayı hariç) nükleer reaksiyon oluşmaz. Hedef malzemenin atom numarasının artması sonucunda hızlandırılan yüklü parçacıklarla nükleer reaksiyon için ihtiyaç duyulan enerji de artar. Atom numarası düşük hedef

malzemeleri için düşük enerjili hızlandırıcılar kullanılabilir. Fakat yüksek atom numaralı malzemeler için parçacık enerjisi yüksek olmalıdır (Savaş 2013).



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Bu başlık altında nükleer tıp alanında tedavi ve tanı amaçlı kullanılan radyoizotoplarla ilgili tesir kesitleriyle nükleer reaksiyonlarının üretim olasılıklarının daha önce yapılmış hesaplama ve karşılaştırmaları özetlenmiştir.

Kore Radyoloji ve Tıp Bilimi Enstitüsünün MC-50 siklotronunda doğal zirkonyum üzerinde protona bağlı reaksiyonlar için geleneksel olarak kullanılan katmanlı-ince folyo tekniği kullanılarak 3-40 MeV enerji aralığında $^{107,111m,115g}\text{Cd}$, $^{108m,108g,109g,110m,110,111g,113m,114m,115m,116m}\text{In}$ ve $^{104g,105g,106m,110m,111g,113g}\text{Ag}$ radyoizotoplarının oluşumu için tesir kesitleri ölçülmüştür. TALYS (a Nuclear Reaction Program) ve ALICE-IPPE (New Advanced Version of Computer Code) kullanılarak teorik hesaplamaları ve daha önceki çalışma sonuçlarını karşılaştırmışlardır (Khandaker *et al.* 2008). Sonuç olarak In radyoizotoplarının (^{110}In , ^{111}In , ^{113}In , ^{114m}In) nükleer tıpta tanı ve terapi (SPECT ve PET) amaçlı kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Kore Radyoloji ve Tıp Bilimi Enstitüsünün MC-50 siklotronunda doğal zirkonyum üzerinde protona bağlı reaksiyonlar için geleneksel olarak kullanılan katmanlı-ince folyo tekniği kullanılarak 4-40 MeV enerji aralığında $^{86,87m,87(m+g),88}\text{Y}$ radyoizotoplarının oluşumu için tesir kesitleri ölçülmüştür. Sonuçları ALICE-IPPE ve MENDL (The Medium Enegy Nuclear Data Library) kodlarıyla karşılaştırmışlardır (Uddin *et al.* 2008). ^{nat}Zr (p,x) reaksiyonunun tıbbi açıdan önemli bir yere sahip olan ^{86}Y radyoizotopu üretimi için uygun bir yöntem olduğunu kararlaştırmışlardır.

Kore Radyoloji ve Tıp Bilimi Enstitüsünün MC-50 siklotronunda protona bağlı reaksiyonlar için geleneksel olarak kullanılan katmanlı-ince folyo tekniği kullanılarak eşik enerjisi ve 40 MeV enerji aralığında radyoizotoplarının oluşumu için tesir kesitleri ölçülmüştür. TALYS ve ALICE-IPPE kullanılarak teorik hesaplamaları ve daha önceki çalışma sonuçlarını karşılaştırmışlardır (Khandaker *et al.* 2009). Sonuçların literatür verileri, TALYS ve ALICE-IPPE bilgisayar kodları ile uyumlu olduğunu ve ^{nat}Sn radyoizotopunun medikal radyoizotop üretimi için uygun olduğunu söylemişlerdir.

Uyarma fonksiyonları ilk kez proton hedefleri bombardımanı ile 70 MeV'e kadar $^{113,111,110}\text{Sn}$, $^{115\text{m}}$, $^{114\text{m}}$, $^{113\text{m}}$, $^{112\text{m}}$, $^{111\text{g}}$, $^{110\text{g}}\text{In}$ ve $^{111\text{m}}$, ^{109}Cd radyoizotoplarının üretimi için ölçüldü. Yeni sonuçlar daha önceki deneysel verilerle ve TENDL-2014 (TALYS-based evaluated nuclear data library) teorik veriler (TALYS 1.6 tabanlı) ile karşılaştırıldı (Tárkányi *et al.* 2016a). Nükleer tıp ile ilgili $^{110\text{m}}\text{In}$, $^{111\text{g}}\text{In}$, $^{113\text{m}}\text{In}$ ve $^{114\text{m}}\text{In}$ radyoizotoplarının üretimini, hem de ince katman aktivasyonu uygulanabilirliğini tartışmışlardır.

Proton kaynaklı nükleer reaksiyonlar zenginleştirilmiş ^{111}Cd ve ^{112}Cd radyoizotopları, tıbben kullanılan rutin izotop üretimi bağlamında 30 MeV'e kadar ^{111}In düşük ve orta enerjili siklotronları çalışılmıştır (Tárkányi *et al.* 1994). Uyarı fonksiyonları, $^{111}\text{Cd}(p,n)^{111\text{m,g}}\text{In}$, $^{112}\text{Cd}(p,2n)^{111\text{m,g}}\text{In}$ gibi üretim reaksiyonları ve $^{111}\text{Cd}(p,2n)^{110\text{m}}\text{In}$, $^{111}\text{Cd}(p,2n)^{110\text{g}}\text{In}$, $^{111}\text{Cd}(p,3n)^{109\text{m1,m2,g}}\text{In}$, $^{112}\text{Cd}(p,3n)^{110\text{m}}\text{In}$, $^{112}\text{Cd}(p,3n)^{110\text{g}}\text{In}$ katmanlı-ince folyo tekniği kullanılarak aktivasyon yöntemi ile ölçülmüştür. Çıkarılabilir kalın hedef ürünleri deneysel elde edilenler ile raporlamışlardır.

Sistematik bir çalışma çerçevesinde nükleer tıp ile ilgili radyoizotoplar ve parçacık üretimi için, $^{178-178\text{m}}\text{Ta}$ nükleer reaksiyonu aracılığıyla uyarı fonksiyonunun dolaylı üretimi için ilk kez 40 MeV enerjisinde ölçüm yapılmıştır (Tárkányi *et al.* 2016b). Buna paralel olarak, yan reaksiyonlar $^{179,177,176,175}\text{W}$, $^{183,182,178\text{g},177,176,175}\text{Ta}$, $^{179\text{m}}$, $^{177\text{m}}$, ^{175}Hf reaksiyonları da değerlendirildi. Katmanlı-ince folyo ışınlama tekniğini ve γ -ışını spektrometresini kullanmışlardır. $^{178}\text{Ta}(d,xn)^{178}\text{W}$ reaksiyonu için yeni deneysel kesit verilerini 40 MeV'e kadar bildirmişlerdir. Ölçülen uyarma fonksiyonları ALICE-IPPE ve nükleer reaksiyon modeli kodları TALYS 1.4 tabanlı verilerle ve TENDL 2013 verileri ile sonuçları raporlamışlardır.

^{111}In ve $^{114\text{m}}\text{In}$ üretimi için IAEA önerilen tesir kesit verilerini güncelleştirmek ve $^{112}\text{Cd}(p,2n)$ ile $^{114}\text{Cd}(p,n)$ reaksiyonları için yeni ölçümleri yapmışlardır (Hermanne *et al.* 2014).

Uyarı fonksiyonları, (p,xn) , (p,pxn) , $(p,2pxn)$ ve $(p,3pxn)$ reaksiyonlarının Ga^{69} Ga^{71} radyoizotopları için 13-56 MeV enerji aralığında ölçümlerini yapmışlardır (Porile *et al.*

1963). Ga⁶⁹ için tesir kesitlerini, (p,2n)-465 mb, (p,3n)-65 mb, (p,4n)-7,2 mb, (p,pn)-420 mb, (p,p2n)-370 mb, (p,p3n)-193 mb, (p, α n)-134 mb, (p,3p)-0.39 mb, (p, α pn)-42 mb olarak ölçmüşlerdir. Ga⁷¹ için tesir kesitlerini, (p,3n)-600 mb, (p,4n)-137 mb, (p,pn)-300 mb, (p,p3n)-240 mb, (p, α 3n)-80 mb, (p, α p)-2,4 mb olarak ölçmüşlerdir. Bu sonuçlar, istatistiksel teori hesaplamaları, basamaklı buharlaşma hesaplamaları ve Zn⁶⁶⁺ α parçacık reaksiyonlarını benzer çalışmalarla raporlamışlardır.

(p,n) tesir kesitlerini ⁵¹V, ⁵²Cr, ⁶³Cu, ⁶⁵Cu, ¹⁰⁷Ag, ¹⁰⁹Ag, ¹¹¹Cd, ¹¹⁴Cd ve ¹³⁹La radyoizotopları için aktivasyon tekniği ile 5-10,5 MeV enerji aralığında ölçülmüştür (Wing and Huizenga 1962). Bu sonuçlar, hacim emilimi ile birkaç enerji değeri, proton reaksiyon tesir kesitlerinden optik model hesaplamaları ve yüzey emilimi ile karşılaştırmışlardır.

Uyarma fonksiyonları, ¹¹⁰Cd, ¹¹¹Cd ve ¹¹²Cd radyoizotopları uyarılmış reaksiyon için 5-37 MeV enerji aralığında ölçülmüştür (Otozai *et al.* 1966). Bileşik çekirdeğin açısall momentum etkilerini incelemek amacıyla, ¹¹⁰Cd+p ve ¹¹²Cd+p reaksiyonları için uyarma fonksiyonlarını ¹⁰⁷Ag ve ¹⁰⁹Ag radyoizotopları ile karşılaştırmışlardır. Etkileri izomerik kesit oranlarında tanınmış ama bileşik çekirdeklerden nötron buharlaşma örnekleri bulunmamıştır. Bu sonuçlara dayanarak, uyarma fonksiyonları üzerine açısall momentum etkilerinin bazı teorik yönlerini tartışmışlardır. Toplam reaksiyon tesir kesitlerinin, dağınık yüzey optik modeline dayalı hesaplanan değerler ile uyumlu olduğunu raporlamışlardır.

Proton ışınlama yoluyla ⁶⁸Ge üretimi için yüksek ışınl gücüne dayanabilecek hedefleri, kalın Cu destek malzemelerinin üzerinde Ga/Ni alaşımı (% 70/30) ve elektrolitik kullanılarak geliştirmişlerdir (Adam-Rebeles *et al.* 2013).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 TALYS 1.6

- Nükleer reaksiyonların sonuç analizi ve tahmini için meydana getirilen bir bilgisayar kod programıdır.
- LINUX işletim sisteminde çalışır.
- FORTRAN programlama diline sahiptir.

3.1.1 Çalışma Prensipleri

Simülasyon reaksiyonlarda, nötron, proton, döteryum, trityum, 3-He, α parçacıkları ve gama ışınları 1 keV – 1 GeV enerji bölgesinde çalışılabilir.

Nükleer model ve süreçlerin veri tabanı ile kombinasyonlarda, optik model, birleşik çekirdek istatistiksel teori, doğrudan reaksiyonlar (elastik ve elastik olmayan saçılmalar) ve denge öncesi süreçler teorik analiz tabanında yapılabilmektedir.

3.2 Temel Giriş Kuralları

Teorik olarak, varsayılan değerlerle bir hesaplama devam etmek için veya mümkün olabilecek giriş hatalarından kullanıcıyı engellemek için TALYS'in tam olarak ahlakça ispatının kullanımı yapmak mümkün olacaktır. TALYS'in kullanıcı dostluğunda göreceli büyük bir gayret harcamamıza rağmen, kullanıcıdan en azından biraz minimum sorumluluk soracak ve aşırı limitte ölçecek böyle bir güven sağlayamadık. Bunu kabul etmeden önce, kodla çalışmak için sadece çok küçük bir çaba gereklidir. TALYS'in başarıyla icra edilmesi eğer giriş dosyasının takip eden basit kural ve ihtimallerini hatırlarsanız tahmin edilebilir:

- 1- Bir giriş çizgisi bir anahtar kelime içerir. Genel olarak, yukarıdaki basit örnekteki gibi sadece bir kelimeyle uğraşılır, ama model parametreleri için bazı anahtar kelimelere aynı sıradaki (genellikle Z ve A) indisleriyle uğraşmak için ihtiyaç vardır.
- 2- Bir anahtar kelime ve diğerleri en azından 1 boşluk karakter ayrılmalıdır.
- 3- Anahtar kelimeler gelişigüzel bir düzende verilebilir. Eğer hata olursa, aynı kelimeyi bir kez daha kullanırsınız. En az birinin değeri ayarlanacaktır.

- 4- Bütün karakterler büyük veya küçük harfle verilebilir.
- 5- Bir karakter bir değerle refakat edilmelidir (Bir istisnası var, dönme anahtar kelimesi).
Hatalı değerleri kullanmak için, anahtar kelimeler basitçe giriş dosyasının dışında kalmalıdır.
- 6- 1 sütundaki # 'la başlayan giriş sırası ihmal edilir. Bu; geçici olarak anahtar kelimeleri deaktive etmek için veya giriş dosyasındaki emirleri kapsamı için yardımcıdır.
- 7- Bir minimum giriş dosyası her zaman 4 sıra içerir ve projectile, element, mass, energy anahtar kelimelerini içerir. Bu 4 kelime herbir giriş dosyasında verilmelidir.
- 8- Bir giriş sırası 80 karakteri geçmemelidir.

3.3 4 Ana Anahtar Kelime

projectile

8 farklı sembol projectile olarak verilebilir, adları ise nötron, proton, deuteron, triton, He-3, alfa ve gama ve 0: temsil eden n, p, d, t, h, a, g ve 0'dır. Bunlar (fırlatılan + hedef) nükleer reaksiyonu yerine kullanılır. 0, Bir uyarılan çekirdeğin birincil popülasyonu ile başladığımız zaman tercih edilir.

element

Nükleer sembol veya hedef çekirdeğin Z atom numarasından her biri verilebilir. Element için muhtemel değerler Li(3)' ten Ds(110)' a sıralanabilir.

mass

Hedef kütle numarası A. Doğal elementin durumu mass 0 ile özelleştirilebilir. Sonra, doğal olarak oluşan her izotop için bir TALYS hesaplaması çalıştırılabilir. Sonra, sonuçlar uygun bir biçimde toplanacak ve ağırlaşacaktır.

energy

Gelen enerji MeV seviyesindedir. Kullanıcının 4 ihtimali vardır.

- (1) Tek gelen enerji gerçek bir sayı gibi girişte bulunmalıdır.

- (2) Bir dosya ismi her sırada bir gelen enerjiyle uygun dosya gelen enerjiler serisi içerdiği durumda belirlenir. Her bir isim bir karakterle başlamak şartıyla bu dosyaya verilebilir ve bu sizin çalışma klasöründe bulunur. Seçenek (2) nükleer veri kütüphanelerinin oluşturulması veya uyarılma fonksiyonlarının hesaplanması için faydalıdır. Seçenek (2) uyarılmış çekirdekler topluluğuyla başladığımız bir nükleer reaksiyon yerine projectile 0 koymak mecburidir. TALYS 1.6' dan önce, bunun için bir dosya yapmaksızın gelen enerjilerin tam bir dizilimini kullanmaya izin veren 2 ek seçenek vardır.
- (3) Bir dosya adı TALYS ile tekrar tanımlanır. Bu yüksek enerjili şebekeleri kapsar, örneğin düşük enerjilerde daha iyi enerji şebekeleri nötronlar için. Bunlar, pE-E şebekesini oluşturur. p, projectile'in adıdır ve iki E'de başlangıç ve bitiş enerjileridir. .grid önceden tanımlanan enerji grid ile alakalı durumu belirtir. Sıkça kullanılan bir örnek ise TENDL kütüphanesindeki nötron enerji şebekesinin olduğu n0.20.grid dosyasıyla tam olarak aynı gelen enerji şebekesi kullanılır ama sadece 20 MeV son enerjisine kadar.
- (4) Enerji anahtar kelimesinden sonra 3 sayı verir: başlangıç enerjisi, son enerji ve enerji adımı. Sonra, bu 3 sayı üzerinde eşit ölçüde bir şebeke oluşturulur.

Özel Durumlar

Enerji anahtar kelimesinin projectile gelen enerjisini göstermediği 2 örnek vardır.

- 1- **Toplanmış İlk Çekirdek:** Eğer projectile 0 ise, kullanıcı enerji anahtar kelimesi için bir dosya adı vermelidir. Bu zaman buna karşılık, dosya gelen enerjileri içermez ama ilk topluluğun uyarılma enerji şebekesini içerir. Dosyanın 1.satırında, enerjilerin numarasını, spinlerin numarasını, eşitlik numarasını ve topluluğun maksimum uyarılma enerjisini okuruz. Uyarılma enerjileri kutuların orta değerlerini göstererek okunur ve eğer spin sayısı 0 ise takip edilir veya 0 değil ise o kutudaki toplam miktar takip edilir. 2.sütunda veilen değerler bir spektrumu gösterir. Eğer bu spektral değerler enerji kutu genişliğiyle çarpılırsa, biz milibarn boyutuna sahip popülasyonu elde ederiz. Eğer verilen yalnız 1 eşitlik için popülasyon bütün eşitliklere dengeli dağıtılır. Bu yüzden, eğer TALYS'in spin eşitlik dağılımına karar vermesine izin verirse (duruma), böyle bir örnek dosya elde ederiz.

- 2- **Astrofiziksel Reaksiyon Oranları:** Eğer astro y ise, astrofiziksel oran için sayfa 171'e bakın, girişte verilen gelen enerji reaksiyon oranlarının hesaplaması için uygun olan yüksek gelen enerji şebekesiyle yönetilmektedir. Buna karşılık, gereksiz programlama komplikasyonlarından kaçınmak için, energy anahtar kelimesi girişte verilmelidir ve bu herhangi bir değer alabilir. Bu yüzden eğer astro y ise, örneğin energy 1'i verebilirdiniz giriş dosyasında. Bu değeri yöneten ayarlanmış gelen enerjiler çıkışta verilecektir.

3.4 TALYS Girdi Dosyası

Bir girdi dosyasının temel değişkenleri

projectile

element

mass

energy

şeklindedir (Koning *et al.* 2013).

Bu temel değişkenlere, çalışılacak kısım, reaksiyon ya da özel durumlara bağlı olarak yeni parametreler eklenebilir.

projectile p

element Sr

mass 86

energy 7. 50. 0.5

preequilibrium y

preeqmode 3

mpreeqmode 1

ldmodel 5

strength 1

strengthM1 2

spherical y

preeqcomplex n

twocomponent n

preeqsurface n

production y
Ibeam 0.1
Ebeam 30.
Eback 20.
channels y
maxchannel 5
filechannels y

3.5 TALYS Çıktı Dosyası

TALYS kod programının çıktı dosyası çok geniş kapsamlıdır. TALYS çıktı dosyaları ile parçacıkların oluşum tesir kesitleri, elastik saçılma açısal dağılımları, kesikli seviyelerde açısal dağılımlar, çoklu kanalların tesir kesitleri, reaksiyon türlerine ait tesir kesitleri, ürün çekirdeklerin oluşum tesir kesitleri gibi birçok hesaplama farklı dosya isimleri ve dosya uzantıları ile ulaşılabilir.

```
# p + 86Sr : (p,n)      Total
# Q-value   =-6.02235E+00
# E-threshold= 6.30350E+00
# # energies = 87
#   E      xs      gamma xs  xs/res.prod.xs
7.000E+00 2.27378E+02 3.22275E+02 9.99973E-01
7.500E+00 3.11063E+02 5.18919E+02 9.99909E-01
8.000E+00 3.89639E+02 7.31345E+02 9.99783E-01
8.500E+00 4.64713E+02 9.45108E+02 9.99677E-01
9.000E+00 5.31959E+02 1.14422E+03 9.99552E-01
9.500E+00 5.90383E+02 1.32803E+03 9.99483E-01
1.000E+01 6.41560E+02 1.49791E+03 9.99413E-01
1.050E+01 6.82679E+02 1.64716E+03 9.99397E-01
1.100E+01 7.19194E+02 1.79188E+03 9.99382E-01
1.150E+01 7.51482E+02 1.93133E+03 9.99416E-01
1.200E+01 7.80124E+02 2.06843E+03 9.99436E-01
```

1.250E+01 8.06097E+02 2.20807E+03 9.99472E-01
1.300E+01 8.29698E+02 2.35086E+03 9.99517E-01
1.350E+01 8.49601E+02 2.49096E+03 9.99544E-01
1.400E+01 8.53844E+02 2.58583E+03 9.99572E-01
1.450E+01 8.17189E+02 2.54272E+03 9.99580E-01
1.500E+01 7.35352E+02 2.33329E+03 9.99550E-01
1.550E+01 6.33671E+02 2.03837E+03 9.99501E-01
1.600E+01 5.26907E+02 1.70911E+03 9.99438E-01
1.650E+01 4.35770E+02 1.42213E+03 9.99348E-01
1.700E+01 3.54064E+02 1.15735E+03 9.99208E-01
1.750E+01 2.88776E+02 9.43445E+02 9.99053E-01
1.800E+01 2.41490E+02 7.88295E+02 9.98902E-01
1.850E+01 2.00992E+02 6.52925E+02 9.98677E-01
1.900E+01 1.74069E+02 5.63470E+02 9.98395E-01
1.950E+01 1.51153E+02 4.86207E+02 9.98050E-01
2.000E+01 1.35612E+02 4.34347E+02 9.97725E-01
2.050E+01 1.23360E+02 3.93673E+02 9.97345E-01
2.100E+01 1.13771E+02 3.61389E+02 9.96848E-01
2.150E+01 1.07042E+02 3.39616E+02 9.96106E-01
2.200E+01 1.00703E+02 3.18661E+02 9.95323E-01
2.250E+01 9.59893E+01 3.03014E+02 9.94589E-01
2.300E+01 9.21348E+01 2.90389E+02 9.93918E-01
2.350E+01 8.85682E+01 2.79129E+02 9.93171E-01
2.400E+01 8.54268E+01 2.68727E+02 9.92392E-01
2.450E+01 8.26960E+01 2.59915E+02 9.91489E-01
2.500E+01 8.05971E+01 2.53739E+02 9.90798E-01
2.550E+01 7.81401E+01 2.46224E+02 9.90122E-01
2.600E+01 7.58200E+01 2.38329E+02 9.89571E-01
2.650E+01 7.38609E+01 2.31957E+02 9.89066E-01
2.700E+01 7.23273E+01 2.26900E+02 9.88663E-01
2.750E+01 7.11035E+01 2.23117E+02 9.88279E-01
2.800E+01 6.87143E+01 2.16313E+02 9.87724E-01

2.850E+01 6.73206E+01 2.10359E+02 9.87416E-01
2.900E+01 6.52086E+01 2.04087E+02 9.87098E-01
2.950E+01 6.45594E+01 2.02470E+02 9.87147E-01
3.000E+01 6.24914E+01 1.96507E+02 9.87049E-01
3.050E+01 6.12938E+01 1.92214E+02 9.87210E-01
3.100E+01 5.93396E+01 1.86476E+02 9.87277E-01
3.150E+01 5.81682E+01 1.81958E+02 9.87559E-01
3.200E+01 5.63646E+01 1.76490E+02 9.87762E-01
3.250E+01 5.59020E+01 1.75095E+02 9.88243E-01
3.300E+01 5.42320E+01 1.70825E+02 9.88601E-01
3.350E+01 5.31263E+01 1.66502E+02 9.89136E-01
3.400E+01 5.14106E+01 1.61650E+02 9.89563E-01
3.450E+01 5.04924E+01 1.58142E+02 9.90110E-01
3.500E+01 4.87775E+01 1.52974E+02 9.90491E-01
3.550E+01 4.82122E+01 1.51437E+02 9.90990E-01
3.600E+01 4.68220E+01 1.47590E+02 9.91318E-01
3.650E+01 4.59820E+01 1.44448E+02 9.91728E-01
3.700E+01 4.46195E+01 1.40835E+02 9.91967E-01
3.750E+01 4.36841E+01 1.37332E+02 9.92283E-01
3.800E+01 4.23191E+01 1.33322E+02 9.92502E-01
3.850E+01 4.14855E+01 1.30216E+02 9.92775E-01
3.900E+01 4.03066E+01 1.26801E+02 9.92946E-01
3.950E+01 3.95472E+01 1.23924E+02 9.93194E-01
4.000E+01 3.85668E+01 1.21686E+02 9.93341E-01
4.050E+01 3.79210E+01 1.19152E+02 9.93539E-01
4.100E+01 3.69348E+01 1.16404E+02 9.93636E-01
4.150E+01 3.62181E+01 1.13790E+02 9.93779E-01
4.200E+01 3.52762E+01 1.11329E+02 9.93872E-01
4.250E+01 3.44663E+01 1.08290E+02 9.93952E-01
4.300E+01 3.35448E+01 1.05529E+02 9.93995E-01
4.350E+01 3.29684E+01 1.03667E+02 9.94038E-01
4.400E+01 3.21553E+01 1.01373E+02 9.94032E-01

4.450E+01 3.14965E+01 9.87938E+01 9.94053E-01
4.500E+01 3.08612E+01 9.73360E+01 9.94060E-01
4.550E+01 3.02580E+01 9.51115E+01 9.94095E-01
4.600E+01 2.95841E+01 9.32302E+01 9.94119E-01
4.650E+01 2.90365E+01 9.14151E+01 9.94157E-01
4.700E+01 2.83621E+01 8.95021E+01 9.94165E-01
4.750E+01 2.76780E+01 8.71792E+01 9.94164E-01
4.800E+01 2.73598E+01 8.57884E+01 9.94259E-01
4.850E+01 2.70625E+01 8.42244E+01 9.94337E-01
4.900E+01 2.61352E+01 8.22777E+01 9.94256E-01
4.950E+01 2.52968E+01 7.98758E+01 9.94185E-01
5.000E+01 2.50757E+01 7.86856E+01 9.94214E-01

3.6 Kullandığımız Radyoizotoplar

Germanyum (Ge): ^{68}Ge radyoizotopu için yarılanma ömrü 270,8 gündür. Yarı metal olan ve elektriksel iletkenliği metal ile ametaller arasında olan germanyum yarı iletkendir. Düşük sıcaklıklarda yalıtkan, oda sıcaklığında zayıf iletken gibi hareket eden germanyum saftır. Bu yüzden elektronik sanayi için önemli elementtir. Germanyumlu aletler, vakum tüplerinin yerine kullanılmaya başlanmıştır. Germanyum ayrıca diyotlarda da kullanılır. Basit ve uzun ömürlü aletler olan transistör ve diyotlar, az ısı yayarlar ve düşük güç kullanırlar. Isıtılacak bir filament olmadığı için, hemen devreye girerler. Germanyum amaca en uygun ve ucuz olduğu için radyo ve diğer ses iletim cihazlarında, yüksek voltaj ve yüksek güç kapasitesine sahip olduğundan da televizyon ve bilgisayarlarda 1960'ların sonuna doğru kullanılmaya başlanılmıştır.

İtriyum (Y): ^{86}Y radyoizotopu için yarılanma ömrü 14,7 saattir. İtriyum başta gadolinit, öksenit ve ksenotim olmak üzere pek çok cevherde bileşikler halindedir. Doğada kurşundan daha çok rastlanılan bir elementtir. İtriyum sanayide, toprak elementlerinden iyon değişimi yoluyla ayrılarak üretilir. İtriyum flüorürün kalsiyumla indirgenmesiyle hazırlanması için metal halinde olması gerekir. İtriyumun en önemli kullanım alanlarından biri de renkli televizyon tüplerinde, çeşitli

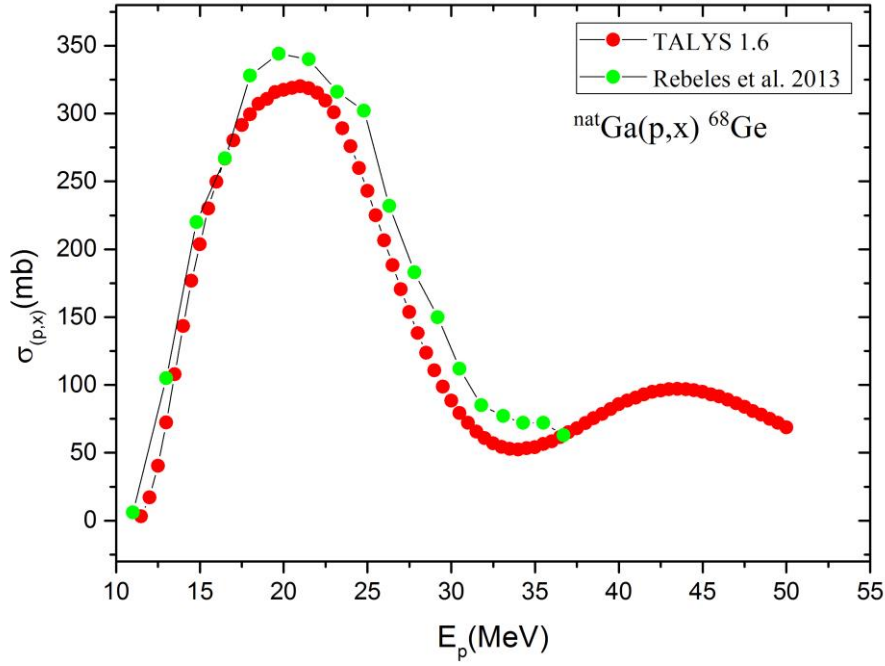
bileşiklerin içinde, daha çok kırmızı rengin elde edilmesinde kullanılır. Ayrıca tıpta radyoaktif itriyum izotopun kanser tedavisinde kullanılır. İtiryum ayrıca sanayide alaşım üretiminde ve metalurji işlemlerinde de kullanılır. İtiryum bileşiklerinden, optik camlarda ve özel seramiklerde katalizör olarak, ayrıca fosforesans maddeler ve laserler gibi optik ve elektronik cihazların üretiminde de faydalanılır.

İndiyum (In): ^{111}In radyoizotopunun yarılanma ömrü 2,83 gündür. Alaşımların yapımında kullanılan indiyum düşük sıcaklıklarda eriyebilen bir elementtir. Örneğin, %76 oranında galyum, %24 oranında da indiyum içeren alaşım, oda sıcaklığında sıvıdır. Atmosferik aşınmaya karşı gümüşle yapılanlardan daha dayanıklı olan aynalar elde edebilmek için metallerin ve camın üzeri indiyumla kaplanmalıdır. Nükleer santrallerde tepkime zincirlerinin düzenleyicisi olarak kullanılmasının yanı sıra, kan ve akciğer araştırmalarında kullanılmaktadır (İnt. Kyn. 2).

4. BULGULAR

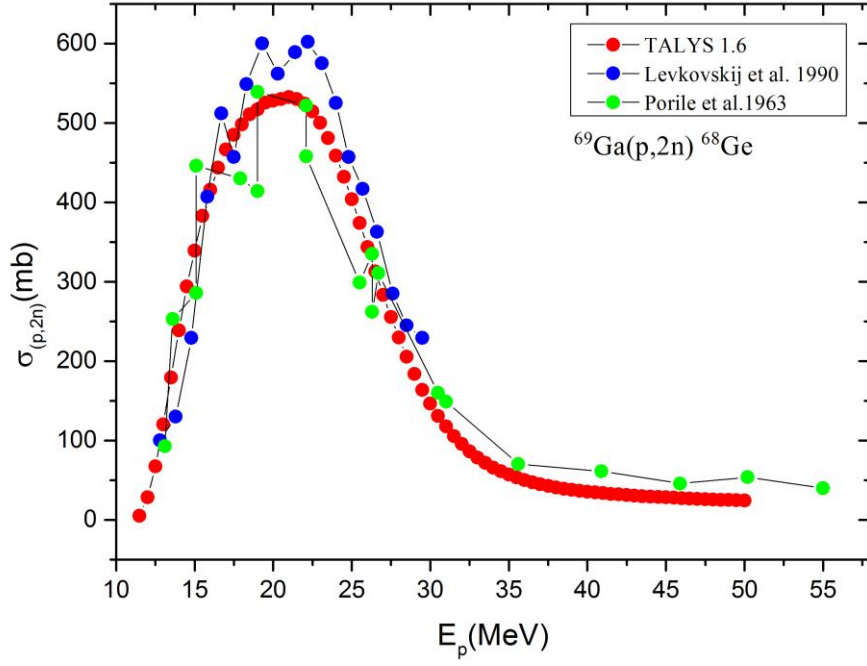
Bu çalışmada, nükleer tıpta kullanılan ^{68}Ge , ^{111}In ve ^{86}Y radyoizotoplarının 0-50 MeV enerji aralığında tesir kesitleri TALYS 1.6 programı kullanılarak hesaplanmış ve deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

4.1 ^{68}Ge Radyoizotopunun Tesir Kesiti



Şekil 4.1 $^{nat}\text{Ga}(p,x)^{68}\text{Ge}$ reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.

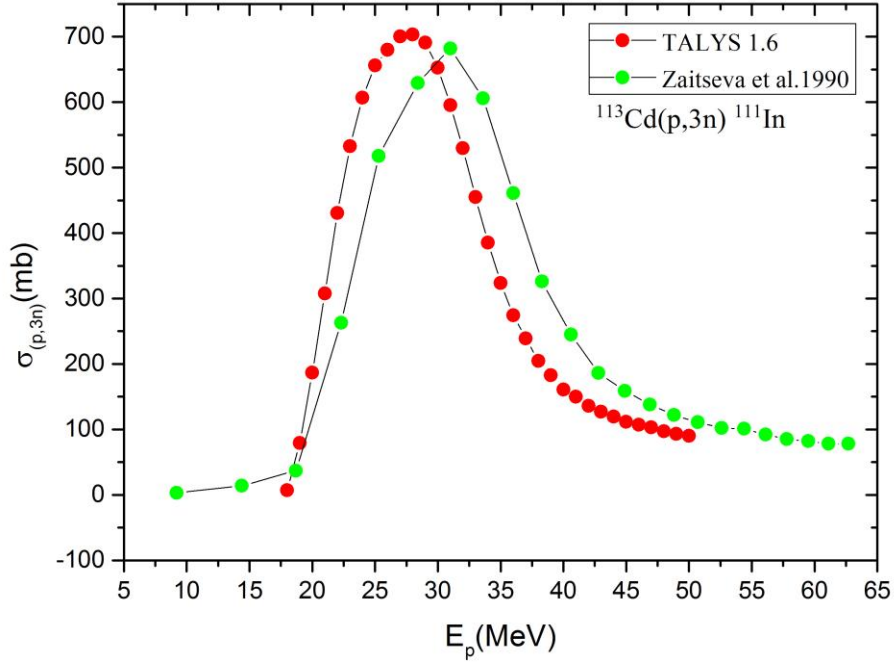
Şekilden de görüldüğü gibi, yaklaşık 10-20 MeV enerji aralığında Rebeles vd. (2013)'in mevcut deneysel verileri ile TALYS 1.6 programı ile hesaplanan veriler bir uyum içerisindedir. 20-40 MeV enerji aralığında ise mevcut deneysel ve teorik verilerden dolayı küçük sapmalar olduğu anlaşılmaktadır. Bu reaksiyon da, en büyük tesir kesitine sahip olduğu enerji değerinin deneysel veriler için 21,5 MeV, TALYS 1.6 verileri için 21 MeV olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2 $^{69}\text{Ga}(p,2n)^{68}\text{Ge}$ reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.

Şekilden de görüldüğü gibi, 10-55 MeV enerji aralığında Levkovskij vd. (1990)'nin ve Porile vd. (1963)'nin mevcut deneysel verileri ile TALYS 1.6 programı ile hesaplanan veriler bir uyum içerisindedir. TALYS 1.6 teorik hesaplamalarında bu reaksiyon için ölçülen tesir kesitleri, mevcut deneysel verilerde olduğu gibi ikili pıge sahiptir. Ancak teorik hesaplamada enerji artışı 1 MeV olarak alındığından bu grafikte tam olarak görülememektedir. Bu reaksiyon da, en büyük tesir kesitinin karşılık geldiği enerji değerinin deneysel veriler için yaklaşık olarak 19 MeV, TALYS 1.6 verileri için 21 MeV olduğu görülmektedir.

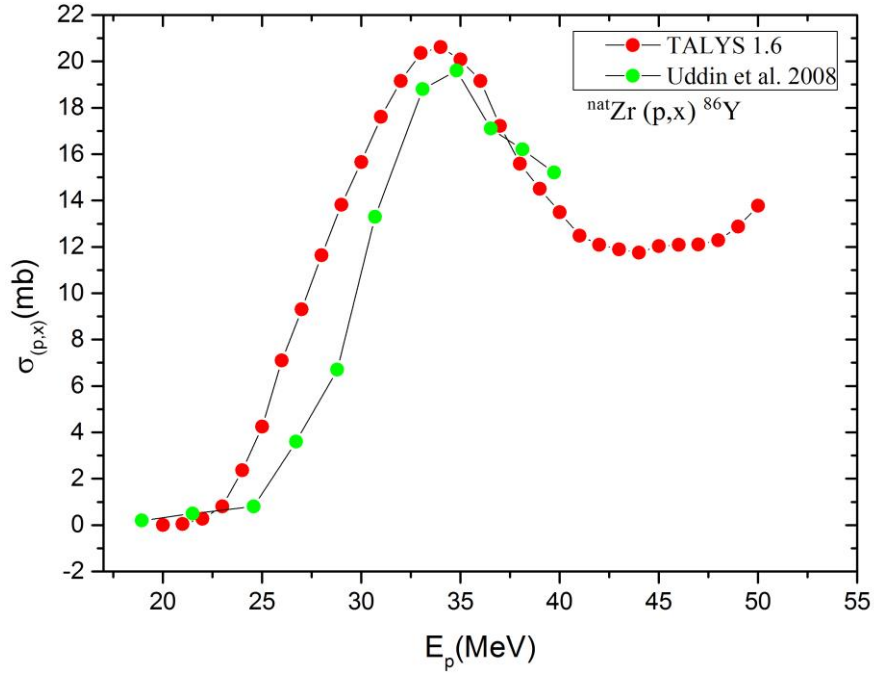
4.2 ^{111}In Radyoizotopunun Tesir Kesiti



Şekil 4.3 $^{113}\text{Cd}(p,3n)^{111}\text{In}$ reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.

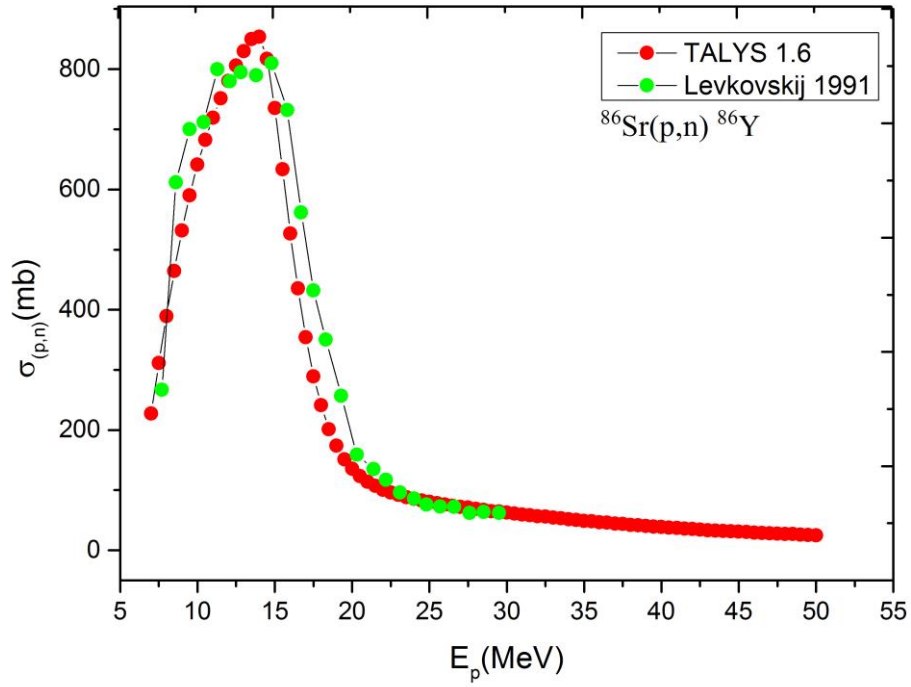
Şekilden de görüldüğü gibi, yaklaşık 10-50 MeV enerji aralığında Zaitseva vd. (1989)'nin mevcut deneysel verileri ile TALYS 1.6 programı ile hesaplanan veriler tam olarak bir uyum içerisinde değildir. 20-45 MeV enerji aralığında ise mevcut deneysel ve teorik verilerden kaynaklanan küçük sapmalar olduğu anlaşılmaktadır. Bu sapmaların nedeni olarak reaksiyonun denge öncesinde verdiği tepki gösterilebilir. Bu reaksiyon da, en büyük tesir kesitine sahip olduğu enerji değerinin deneysel veriler için 31 MeV, TALYS 1.6 verileri için 28 MeV olduğu görülmektedir.

4.3 ^{86}Y Radyoizotopunun Tesir Kesiti



Şekil 4.4 $^{nat}\text{Zr}(p,x)^{86}\text{Y}$ reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.

Şekilden de görüldüğü gibi, yaklaşık 15-45 MeV enerji aralığında Uddin vd. (2008)' in mevcut deneysel verileri ile TALYS 1.6 programı ile hesaplanan veriler bir uyum içerisindedir. Bu reaksiyon da, en büyük tesir kesitine sahip olduğu enerji değerinin deneysel veriler için 34,8 MeV, TALYS 1.6 verileri için 34 MeV olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5 $^{86}\text{Sr}(p,n)^{86}\text{Y}$ reaksiyon tesir kesitlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması.

Şekilden de görüldüğü gibi, yaklaşık 5-30 MeV enerji aralığında Levkovskij (1991)' in mevcut deneysel verileri ile TALYS 1.6 programı ile hesaplanan veriler bir uyum içerisindedir. 15-25 MeV enerji aralığında ise mevcut deneysel ve teorik verilerden kaynaklanan küçük sapmalar olduğu anlaşılmaktadır. Bu reaksiyon da, en büyük tesir kesitine sahip olduğu enerji değerinin deneysel veriler için 14,8 MeV, TALYS 1.6 verileri için 14 MeV olduğu görülmektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Nükleer reaksiyon çalışmalarından elde edilen deneysel sonuçlar temel çekirdek fiziğinin anlaşılması açısından büyük bir öneme sahiptir. Reaktörlerde üretilen çekirdeklerin yarı ömürleri genellikle kısadır. Bu nedenle, bu çekirdeklerin tesir kesitlerinin doğrudan ölçülmesi mümkün değildir.

Bu çalışmada; tesir kesiti hesaplamaları, proton girişli reaksiyonlar için nükleer reaksiyon modelleri kullanılarak yapılmıştır. Bu hesaplamalar, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'nun EXFOR (Experimental Nuclear Reaction Data) Kütüphanesi'nden elde edilen deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Reaksiyonların genelinde 0-50 MeV enerji aralığındaki mevcut deneysel veriler ile TALYS 1.6 programı ile hesaplanan veriler paralellik ve uyum içindedir.

Bu çalışma ve benzeri tesir kesiti hesaplamaları, başta nükleer fizik alanında olmak üzere, birçok alanda kullanışlıdır. Hatta yüksek enerjilerde deneysel çalışmaları zor olan veya yapılamayan deneysel çalışmalar için bir yol gösterici niteliği taşıması açısından önemlidir.

Sonuç olarak, kullanılan parametreler ve kodlar neticesinde elde edilen sonuçlar, TALYS 1.6 nükleer reaksiyon bilgisayar kod programının deneysel veriler ile olan uyumu göstermektedir.

Çalışmamızda tıpta yaygın kullanılan bazı tıbbi radyoizotopların tesir kesitleri hesaplanarak üretilcek radyoizotopların en verimli şekilde elde edilmesi için uygun enerji aralığının tespiti için daha önce çalışılmış olan deneysel verilerle gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Yarı ömürleri kısa, tıpta yaygın ve etkin olarak kullanılan tıbbi radyoizotopların üretimi ile sağlık hizmetine katkıda bulunulacaktır.

Nükleer tıp alanında kullanılan ve bu çalışmada reaksiyon tesir kesitleri hesaplanan radyoizotopların üretim reaksiyonlarının optimum enerji aralıkları aşağıdaki gibidir.

Radyoizotoplar	Üretim Reaksiyonları	Enerji Aralığı
Germanyum(⁶⁸ Ge)	^{nat} Ga(p,x) ⁶⁸ Ge	20-22 MeV
Germanyum(⁶⁸ Ge)	⁶⁹ Ga(p,2n) ⁶⁸ Ge	20-22 MeV
İtriyum(⁸⁶ Y)	^{nat} Zr (p,x) ⁸⁶ Y	33-35 MeV
İtriyum(⁸⁶ Y)	⁸⁶ Sr(p,n) ⁸⁶ Y	13-15 MeV
İndiyum(¹¹¹ In)	¹¹³ Cd(p,3n) ¹¹¹ In	27-30 MeV

6. KAYNAKLAR

- Hermanne, A., Adam-Rebeles, R., VandenWinkel, P., Tárkányi, F. And Takács, S. (2014). Production of ^{111}In and $^{114\text{m}}\text{In}$ by proton induced reactions: an update on excitation functions, chemical separation–purification and recovery of target material. *Radiochimica Acta*, **102**: 1111–1126.
- Khandaker, M. U., Kim, K., Lee, K.S., Kim, G.N., Cho, Y.S. and Lee, Y. O. (2008). Production cross-section for the residual radionuclides from the $^{\text{nat}}\text{Cd}(\text{p},\text{x})$ nuclear processes. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, **266**: 4877-4887.
- Khandaker, M. U., Kim, K., Kim, K.S., Kim, G., Cho, Y.S., Lee, M., Lee, Y.S. and Lee, Y. O. (2009). Excitation functions of the proton-induced nuclear reactions on Sn^{nat} up to 40 MeV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, **267**: 23-31.
- Koning A., Stephane Hilaire, Stephane Goriely ‘Nuclear Research and Consultancy Group (NRG) Westerduinweg 3, P.O. Box 25, NL-1755 ZG, Petten, The Netherlands’ December 23, 2013.
- Krane, K.S. (2006). Introductory Nuclear Physics, (Çeviri Editörü: B. Şarer), Nükleer Fizik 1. Cilt, II. Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Levkoskij, V.N., Reutov, V.F., Botvin, K.V. (1990). Formation Of Hydrogen In Zirconium, Niobium, And Molybdenum During Irradiation With Alpha Particles In The Energy Interval From 10 To 46 MeV. *Atomnaya Energiya*, **69**: 99.
- Otozai, K., Kume, S., Mito, A., Okamura, H., Tsujino, H., Kanchiku, Y., Katoh, T. and Gotah, H. (1966). Excitation Functions For The Reactions Induced By Protons On Cd Up To 37 MeV. *Nuclear Physics*, **80**: 335-348.
- Porile, N. T., Tanaka, S., Amano, H., Furukawa, M., Iwata, S. and Yagi, M. (1963). Nuclear Reactions Of Ga^{69} And Ga^{71} With 13-56 Mev Protons. *Nuclear Physics*, **43**: 500-522.
- Rebeles, A. R., Hermanne, A., Van den Winkel, P., De Vis, L., Waegeneer, R., Tárkányi, F., Takács, S. and Takács, M. P. (2013). $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ production revisited:

excitation curves, target preparation and chemical separation – purification. *Radiochimica Acta*, **101**: 481–489.

Savaş, F. (2013). Medikal Fizikte Kullanılan Bazı Radyonüklidlerin Nükleer Reaksiyon Tesir Kesitlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Tárányi, F., Szelecényi, F., Kopecký, P., Molnár, T., Ando, L., Mikecz, P., Toth, Gy. and Rydl, A. (1994). Cross Sections of Proton Induced Nuclear Reactions on Enriched ^{111}Cd and ^{112}Cd for the Production of ^{111}In for Use in Nuclear Medicine. *Applied Radiation and Isotopes*, **45**: 239-249.

Tárányi, F., Ditrói, F., Takács, S., Hermanne, A., Al-Abyad, M., Yamazaki, H., Baba, M. and Mohammadi, M.A. (2016). New activation cross section data on longer lived radio-nuclei produced in proton induced nuclear reaction on zirconium. *Preprint submitted to Applied Radiation and Isotopes*, **1**: 1-18.

Tárányi, F., Takács, S., Hermanne, A., Ditrói, F., Baba, M. and Ignatyuk, A.V. (2016). Investigation of activation cross sections of proton induced reactions on indium up to 70 MeV for practical applications. *Applied Radiation and Isotopes*, **107**: 1-12.

Uddin, M.S., Khandaker, M. U., Kim, K. S., Lee, Y.S., Kim, G.N. and Lee, M. W. (2008). Excitation functions of the proton induced nuclear reactions on natural zirconium. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, **266**: 13-20.

Uddin, M.S., Khandaker, M. U., Kim, K., Lee, M., Kim, G. and Lee, Y. S. (2008). Measurement of the Proton-induced Reaction Cross-sections of $^{nat}\text{Zr}(p,xn)^{86,87m,87(m+g),88}\text{Y}$ up to 40 MeV. *Journal Of Nuclear Science And Technology*, **5**: 241–244.

Wing, J. and Huizenga, J. R. (1962). (p,n) Cross Sections of V^{51} , Cr^{52} , Cu^{63} , Cu^{65} , Ag^{107} , Ag^{109} , Cd^{111} , Cd^{114} , and La^{139} from 5 to 10.5 MeV*. *Physical Review*, **128**: 1- 7.

Zaitseva, N.G., Knotek, O., Kowalew. A., Mikecz. P., Rurarz. E., Khalkin, V. A., Ageev, V. A., Klyuchnikov, A.A., Kuzina, L.A and Linev, A.F. (1989). Excitation

functions and yields for ^{111}In production using $^{113}, ^{114,\text{nat}}\text{Cd}(\text{p},\text{xn})^{111}\text{In}$ reactions with 65 MeV protons. *Applied Radiation and Isotopes*, **41**: 177- 183.

İnternet Kaynakları

1. <http://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/radioisotopes-in-medicine.aspx>, 22/05/2016.
2. <https://www.frmtr.com/kimya/2764118-101-elementin-kullanim-alanlari.html>, 27/05/2016.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sercan ÇEVRE
Doğum Yeri ve Tarihi : SÖKE /24.04.1991
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0(542) 2941236 /aslanimsercan13@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Söke Yavuz Selim Lisesi (2005-2009)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi - Fen Edebiyat
Fakültesi -Fizik Bölümü – (2009-2014)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi - Fen Bilimleri
Enstitüsü -Fizik Anabilim Dalı – (2014-2016)

Bilgisayar Bilgisi :

- * Linux İşletim Sistemi (Orta Seviyede)
- * Microsoft Office Programları (İyi Seviyede)
- * Talys1.6 Teorik Fizik Simülasyon Programları (Orta Seviyede)
- * Teorik Fizik Grafik Programı (Origin 9.0) (İyi Seviyede)

Yayınları (SCI ve diğer) :

Çevre, S., Akçaalan, U., Ünal, R. ve Oruncak, B. (2014), ^{nat}Ce , ^{140}Ce , ^{142}Ce İzotopları için (γ, n) Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Hesaplanması. *III. Gefik Kongresi 14-16 Temmuz*, (Poster sunum).